

高等院校适用

电工技术

毕绍光 主编

机械工业出版社

本书是根据高等工科院校非电类专业电工技术课程的教学基本要求进行编写的。参考学时数为40~45。内容包括：电路分析、变压器和电机、基本控制线路、工厂供电、节约用电、电工测量等。各章节在阐述基本概念、原理和分析方法的基础上，力求拓宽知识面，选编新内容，并加强了实际应用。

本书适用于高等工科院校非电类专业电工技术课程的教材，也可供职大、夜大师生选用。

电 工 技 术

毕绍光 主编

★

责任编辑：孙 瑞 责任校对：宁秀娥

封面设计：方 芬 版式设计：霍永明

责任印制：汪永年

★

机械工业出版社出版（北京阜成门 外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

北京龙华印刷厂印刷

机械工业出版社发行

★

开本787×1092¹/₃₂·印张11·字数237千字

1990年6月北京第一版·1990年6月北京第一次印刷

印数 00,001—10,000·定价：4.40元

★

ISBN 7-111-02494-X/T M·326(X)

前 言

本书系原机械工业部部属高等院校《电工技术》和《电子技术》协作组所编的《电工技术》一书的修订本。全书分为《电工技术》和《电子技术》两册，总参考学时数为80~90。

《电工技术》包括：电路分析、电机和变压器、基本控制线路、工厂供电、节约用电和电工测量等，共八章。

在原书稿的修订过程中，遵照国家教委电工学课程教学指导小组所拟定的教学基本要求，结合部内外各院校非电类专业电工课程教学的实际需要，本着更新内容、侧重应用、培养能力的编写原则，精选电工基础知识，并增编下列几部分内容：供电部分，重点讲述工厂供配电系统，电力负荷和安全用电；节电部分，介绍工厂节电的科学管理和主要技术措施；电工测量部分，讲述常用的机电式指示仪表的工作原理和应用。其中在节前打*号的仅供选用。为便于学生自学和培养他们的分析能力，书中选编了一些例题和设计实例，并在每章末编入一定数量的习题。

本书的第一章由陕西机械学院吴云玲编写；第二章由重庆工业管理学院冯德惠编写；第三、五章和第四章分别由洛阳工学院常通义和唐之义编写；第六章由甘肃工业大学黄秀云编写；第七章和第八章分别由北京机械工业学院魏东彦和毕绍光编写。毕绍光和常通义担任本书的主编和副主编。

参加本书审稿工作的有：王宏甫（北京理工大学）、白营生（阜新矿业学院）、许新民、方厚辉（湖南大学）、杨

德增(海军航空工程学院)、黄必均、易明炽(广西大学)、李遇春(广西工学院)、高福华(吉林工业大学)、方人澄(北京机械工业学院)、赵荫棠(合肥工业大学)和秦胜华(安徽工学院)等。范振铨(沈阳工业大学)担任本书的主审。

机械电子工业部部属高等院校《电工技术、电子技术》课程协作组对本书的编审工作给予了大力支持和指导。

由于编者水平所限,书中不免存在缺点或错误,殷切希望使用本教材的广大师生和读者给予批评指正。

作 者

1989年11月

目 录

前言

第一章 直流电路	1
§ 1-1 电路元件和电源模型	1
一、无源电路元件	1
二、有源电路元件和电源模型	8
§ 1-2 电路的基本定律	14
一、电动势、电压和电流的正方向	14
二、基尔霍夫定律	18
§ 1-3 电路的基本分析方法	26
一、支路电流法	26
二、叠加原理	31
三、电路的等效变换	34
§ 1-4 电容电路的暂态过程	45
一、电容电路的换路定律	45
二、RC电路的充电过程	46
三、RC电路的放电过程	49
四、三要素法	51
习题	54
第二章 正弦交流电路	62
§ 2-1 正弦交流电的基本概念	64
一、正弦交流电的特征	64
二、正弦交流电的相量表示	68
§ 2-2 单一参数正弦交流电路的分析	73
一、纯电阻电路	73

二、纯电感电路	76
三、纯电容电路	80
§ 2-3 多参数正弦交流电路的分析	84
一、RLC串联电路	85
二、RLC并联电路	88
三、阻抗的串联和并联电路	91
四、交流电路的功率	92
§ 2-4 交流电路中的谐振	96
一、串联谐振	96
二、并联谐振	99
§ 2-5 三相交流电路	102
一、三相交流电源	102
二、三相电源的供电方式	105
三、三相电路的分析	107
四、三相电路的功率	118
习题	121
第三章 变压器和电磁铁	125
§ 3-1 磁路	125
一、磁路	125
二、描述磁场的物理量	125
三、磁性材料	127
四、磁路的欧姆定律	129
五、简单直流磁路的计算	132
§ 3-2 变压器	134
一、变压器的基本结构	134
二、变压器的工作原理	135
三、变压器的用途	139
四、变压器的功耗和效率	140
五、变压器的外特性	142

六、特殊变压器	143
* § 3 - 3 电磁铁	146
一、概述	146
二、直流电磁铁	146
三、交流电磁铁	149
习题	153
第四章 电机	156
§ 4 - 1 三相异步电动机	156
一、基本结构	156
二、工作原理	159
§ 4 - 2 三相异步电动机的电磁转矩和机械特性	164
一、电磁转矩	164
二、机械特性	168
§ 4 - 3 三相异步电动机的使用	172
一、三相异步电动机的起动	172
二、三相异步电动机的调速	177
三、三相异步电动机的制动	179
§ 4 - 4 三相异步电动机的额定值	181
一、电动机的额定值	181
二、电动机的合理选用	184
三、三相异步电动机系列简介	185
§ 4 - 5 单相异步电动机	190
一、单相异步电动机的工作原理	190
二、电容分相式异步电动机	193
§ 4 - 6 直流电动机	195
一、基本结构	195
二、工作原理和励磁方式	197
三、电磁关系和机械特性	199

四、直流电动机的起动	202
五、直流电动机的调速	203
* § 4 - 7 控制电机	207
一、伺服电动机	208
二、测速发电机	211
三、自整角机	213
四、步进电动机	214
习题	216
第五章 三相异步电动机的控制线路	221
§ 5 - 1 常用控制电器	221
一、按钮	221
二、刀开关	222
三、熔断器	223
四、交流接触器	225
五、热继电器	227
§ 5 - 2 三相异步电动机的基本控制线路	229
一、点动控制线路	229
二、起停控制线路	230
三、正反转控制线路	232
§ 5 - 3 时间控制	235
一、时间继电器	235
二、时间控制线路	237
三、次序控制线路	238
§ 5 - 4 行程控制	240
一、按钮式行程开关	241
二、行程控制线路	241
* § 5 - 5 基本逻辑型顺序控制器	243
一、旁路原理	244
二、基本逻辑关系的实现	245

三、顺序控制器的功能分析	247
四、顺序控制器的设计	248
习题	252
第六章 工厂供电及安全用电	255
§ 6-1 工厂供电系统的组成及电力负荷分级	255
一、外部供电系统	255
二、工厂变电所	256
三、工厂高低压配电网	257
四、电力负荷分级及其对供电方式的要求	257
§ 6-2 工厂电力负荷的估算	258
一、单位产品耗电量法	258
二、车间生产面积负荷密度法	261
§ 6-3 工厂变电所主结线	261
一、对变电所主结线的要求	261
二、主结线中主要电器的作用	262
三、变电所主结线	265
§ 6-4 工厂配电线路	268
一、配电线路的种类	268
二、配电线路的结线方式	270
§ 6-5 接地、接零和防雷	277
一、接地、接零的一些基本概念	277
二、保护接地	279
三、保护接零	280
四、防雷的基本知识	282
§ 6-6 安全用电	285
一、电对人体的伤害	285
二、防止触电的基本安全措施	286
三、电气设备的防火	287
习题	288

第七章 工厂节约用电	290
§ 7-1 工厂节电的必要性	290
一、节电可缓解电力供需的矛盾	290
二、工厂节电与技术进步	290
三、认真执行节电措施将会提高企业的全面管理水平	290
§ 7-2 工厂节电的科学管理	291
一、企业应建立计量记录和统计资料	291
二、计划用电及电力定额管理	291
三、负荷调整	292
四、立足于节电的机电设备管理	293
五、建立节电管理组织	293
§ 7-3 工厂节电的主要技术措施	293
一、厂区功率因数的改善	293
二、厂区供、配电系统的节电技术措施	300
三、电动机的节约用电措施	303
四、工厂中电热设备的节电措施	306
五、工厂电气照明的节电措施	307
习题	309
第八章 电工测量	310
§ 8-1 电工测量的基础知识	310
一、电工仪表的分类	310
二、机电式指示仪表	311
三、机电式仪表的基本结构和工作原理	311
四、仪表的误差和准确度	312
五、常用的指示仪表的标志符号	315
§ 8-2 直流电流和电压的测量	317
一、磁电系测量机构和工作原理	317
二、直流电流表	318

三、直流电压表	320
§ 8-3 交流电流、电压的测量	321
一、电动系测量机构和工作原理	321
二、交、直流电流表	323
三、交、直流电压表	324
§ 8-4 电功率的测量	325
一、电动系功率表	325
二、有功功率的测量	326
§ 8-5 电能的测量	330
一、单相电度表的测量机构和工作原理	330
二、电度表的分类、铭牌和使用	333
三、三相电度表	335

第一章 直流电路

本章主要讨论直流电路及电路的基本定律和基本分析方法，这是电路分析的理论基础。

§ 1-1 电路元件和电源模型

一般情况下使用电能时需要用导线将供电设备和用电设备联接起来形成系统，这就是电路，如图 1-1 所示。

电路中的供电设备称为电源，如电池、发电机及直流稳压电源等。电源的作用是供给用电设备一定的电能。用电设备称为负载，如灯泡、电阻器、电感器、电容器、晶体管、电动机等实际部件，它们有不同的物理性质，因而可以用于各种能量的转换。

为了便于分析和计算电路，通常把实际部件和电路抽象为理想化的模型，称为理想电路元件和电路模型。



图 1-1 电路

理想电路元件是对实际部件的电磁性质的科学抽象和概括，用以反映实际部件的主要物理性质。而电路模型是由理想电路元件组成。理想电路元件一般分为两大类：无源电路元件和有源电路元件。

一、无源电路元件

无源电路元件，按其物理性质的不同，可分为三种：电

阻元件、电感元件和电容元件，在电路图中分别用图 1-2 a、b、c 所示的符号来表示。各元件的特征可用元件上的电压和电流的关系来描述。

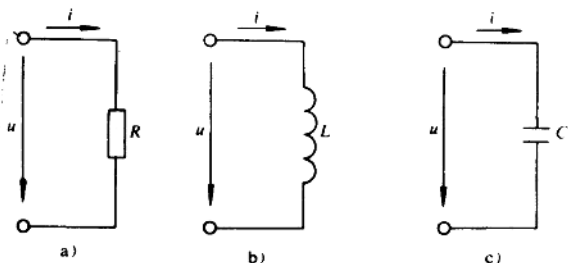


图 1-2 无源电路元件

$$a) \quad u = iR \quad b) \quad u = L \frac{di}{dt} \quad c) \quad i = C \frac{du}{dt}$$

(一) 电阻元件的物理性质

当电阻器通以电流时，将电能转换为热能而消耗掉，我们用电阻 R 参数表征电路中消耗电能的电阻元件，如白炽灯、电阻炉及加热器等实际部件，电阻参数起主要作用，因此，可视为单一参数的电阻元件，如图 1-2 a 所示。

根据欧姆定律可写出电压 u 与电流 i 的关系式：

$$R = \frac{u}{i} \quad \text{或} \quad u = iR, \quad i = \frac{u}{R} \quad (1-1)$$

即任一瞬时通过电阻的电流 i 与端电压 u 成正比。

若电压和电流随时间变化，则任一瞬时电压和电流的乘积就是该瞬时电阻消耗的电功率，称为瞬时功率，即

$$p = ui = Ri^2 = \frac{u^2}{R} \quad (1-2)$$

由于 p 与 i^2 或 u^2 成正比, 所以电功率总是正值。这说明电阻是消耗电能的。而电源供给电阻的电能为

$$W = \int_0^t u i \, dt = \int_0^t i^2 R \, dt \quad (1-3)$$

该电能全部由电阻元件转换成热能, 由此可知, 电阻的物理性质有两点:

1. 任一瞬时电阻的电流与电压成正比。
2. 电阻是耗能元件, 电阻消耗电能的过程是不可逆的。

$$\begin{aligned} \text{在直流电路中} \quad I &= \frac{U}{R}, \quad U = IR, \quad P = UI = I^2 R \\ &= \frac{U^2}{R}. \end{aligned}$$

电阻吸收的电能转换为热能, 将使电阻器的温度升高, 当温度过高时, 电阻器会被烧坏。因此, 通常在电阻器上除标明阻值外, 还标出额定功率的瓦数, 使用时不能超过电阻器的这些标称值 (或称额定值)。

(二) 电感元件的物理性质

一个电感线圈通以电流时会产生磁场, 并将电能转换为磁场能量而储存起来。若其内阻很小可忽略不计时, 则可以用参数 L 来表征储存磁场能量的电感元件。如日光灯电路中的镇流器、接触器的线圈等, 可视为单一参数的电感元件, 如图 1-3 所示。

设线圈匝数为 N , 当通过线圈的电流 i 发生变化时, 在线圈中便产生交变的磁通 Φ , 其方向与 i 的方向符合右手螺

旋定则。线圈中的磁链为

$$\Psi = N\Phi \quad (1-4)$$

磁链与电流 i 成正比, 即

$$\Psi = Li \quad \text{或}$$

$$L = \Psi / i = N\Phi / i \quad (1-5)$$

式中 L 称为线圈的电感, 若 Ψ 的单位为韦 (Wb), i 的单位为 A, 则 L 的单位为亨 (H)。

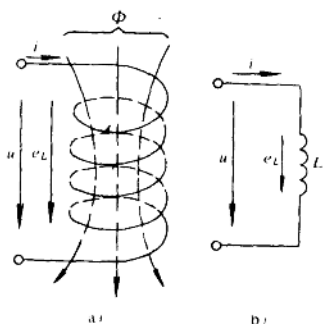


图1-3 纯电感元件

若是在线圈中没有铁磁物质, 则此线圈的电感为一常数, 称为线性电感, 可用图1-3 b中的符号表示。

当磁链 Ψ 发生变化时, 线圈中将产生感应电动势 e_L 。若规定 e 方向与磁通方向之间符合右手螺旋定则, 则根据电磁感应定律可得

$$e_L = -\frac{d\Psi}{dt} = -\frac{dLi}{dt} = -L\frac{di}{dt} \quad (1-6)$$

即线圈中感应电动势与电流的变化率成正比。

线圈的端电压与电流的关系为

$$u = -e_L = L\frac{di}{dt} \quad (1-7)$$

这是电感元件的性能方程, 它表明电感电压与电流的变化率成正比。上式也可写成

$$i = \frac{1}{L} \int u dt \quad (1-8)$$

电感吸取的瞬时功率为

$$p_L = ui = Li \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

电感电压的实际方向和电流的实际方向相同时，瞬时功率 p_L 是正值，表明电感从电源吸取的电功率转换为磁场能量并储存在电感线圈中；否则 p 为负值，表明电感把磁场能量转换为电能送回电源。可见，电感中磁场能与电能的转换过程是一个可逆过程。

在时间从零到 t 的范围内，电流从零增加到 i ，则电感吸取的电能为

$$W_L = \int_0^t p_L dt = \int_0^t u i dt = \int_0^i Li di = \frac{1}{2} Li^2 \quad (1-10)$$

式 (1-10) 表明电源供给的电功率全部转换为磁场能，并储存在电感线圈中。由此可见，电感的物理性质为：

1. 电感上的电压与电流的变化率成正比。
2. 电感是储能元件，电感中的磁场能与电能的转换过程是可逆的。

(三) 电容元件的物理性质

在一个电容器两端加上电压时，会产生电场，并将电能转换为电场能储存起来，若电容器的漏电阻和引线的电感可以忽略不计时，则可以用参数 C 来表征储存电场能的电容元件，如图 1-4 所示。

当电容器两端加上电压 u 时，极板上积累的电荷量 q 与极板所加的电压 u 成正比，即

$$q = Cu \quad \text{或} \quad C = \frac{q}{u} \quad (1-11)$$

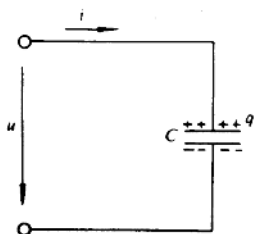


图 1-4 电容元件

式 (1-11) 中电量与电压的比值 C 称为电容。电容的单位为 F 。实际上常用的电容单位为微法 (μF) 和皮法 (pF)。它们之间的关系为

$$1 F = 10^6 \mu F = 10^{12} pF$$

当电容端电压 u 随时间变化时, 储存的电量 q 也随之变化, 这时电路中出现电荷的移动而形成电流, 根据电流定义

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} \quad (1-12)$$

这是电容元件的性能方程, 它表明电容的电流与电压对时间的变化率成正比。式 (1-12) 也可写成

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt + u_C(0) \quad (1-13)$$

电压 $u_C(0)$ 表示电容器极板两端在 $t = 0$ 时的初始电压, 当 $u_C(0) = 0$ 时, 式 (1-13) 则简化为

$$u = \frac{1}{C} \int_0^t i dt \quad (1-14)$$

电容器吸取的瞬时功率为

$$p_C = ui = Cu \frac{du}{dt} = \frac{1}{C} i \int_0^t i dt \quad (1-15)$$